Die Frage der Flussverunreinigung.

INAUGURAL-DISSERTATION

WELCHE

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

IN DER

MEDICIN UND CHIRURGIE

MIT ZUSTIMMUNG

DER MEDICINISCHEN FACULTÄT

DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

AM 4. AUGUST 1893

NEBST DEN ANGEFÜGTEN THESEN

ÖFFENTLICH VERTEIDIGEN WIRD

DER VERFASSER

Adolf Klett

aus Ludwigsburg.

OPPONENTEN: Herr Dr. med. F. Klauer, Assistenzarzt I. Cl.
„ Dd. med. A. Bonzelius.
„ stud. med. E. Kaufholz.

BERLIN
C. VOGT'S BUCHDRUCKEREI (E. EBERING).
Linkstrasse 16.

Dem Förderer meiner Studien,

Herrn Oberjustizprocurator A. Klett

in Liebe und Dankbarkeit

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535707_0154

Die Choleraepidemie, die in den letzten Jahren Europa verheerte, hat von neuem die allgemeine Aufmerksamkeit auf einen Punkt der öffentlichen Gesundheitspflege gelenkt, dem im Laufe der Zeit eine immer grössere Bedeutung zuerkannt worden ist, nämlich auf die Beseitigung der Abfallstoffe. Wie wichtig für ein jedes Gemeinwesen eine geregelte Fürsorge für die öffentliche Reinlichkeit ist, das zeigen uns deutlich die Fortschritte, die wir verzeichnen können im Kampf gegen eine ganze Reihe von verheerenden Infectionskrankheiten, die mit der fortschreitenden Besserung der hygienischen Verhältnisse immer seltener auftraten.

Die Abfallstoffe, um die es sich handelt, sind wesentlich organischer Natur, also fäulnisfähig. Sie bestehen teils aus Harn und Kot und den mit dem menschlichen Haushalt zusammenhängenden Spülwässern, teils aus den Abwässern von gewerblichen Betrieben, von denen manche, wie Schlächtereien, Zuckerfabriken oft unglaubliche Mengen von Abfallstoffen liefern. Ueberlässt man diese Abfallstoffe sich selbst, so gehen sie in Fäulnis oder anderweitige Zersetzung über. Wie gross das fäulnisfähige Material ist, mag man daraus ersehen, dass nach Pettenkofer

pro Kopf und Jahr ca. 7300 kg Abwässer gerechnet werden müssen.

Solche Mengen können natürlich nicht ohne weiteres dem Boden übergeben werden, sondern es müssen irgendwelche Vorkehrungen getroffen werden, um sie zu magazinieren. So entstanden die in hygienischer Beziehung so überaus gefährlichen Schwind- oder Senkgruben, Gruben, deren Wände absichtlich so undicht gemacht sind, dass sie den völlig freien Austritt des Grubeninhalts in das umgebende Erdreich gestatten. Derartige Anlagen können allerdings jahrelang Verwendung finden, ehe sie einer Räumung bedürfen, es ist aber klar, dass sie zu einer hochgradigen Verunreinigung des Bodens Anlass geben müssen. Da wir aber in hohem Grade in unserem Befinden vom Boden abhängig sind, so ist eine mehr oder minder grosse Verschmutzung desselben keineswegs ohne Einfluss auf unsere Gesundheit.

Der Boden aus der Umgebung unseres Hauses gelangt als Staub in unsere Wohnräume, wo wir ihn teils einatmen, teils mit den Speisen verschlucken. Die Bodenluft wird durch das mit warmer Luft erfüllte Haus angesaugt; in Parterreräumlichkeiten kann bisweilen die Luft zur Hälfte aus Bodenluft bestehen. Ist also der Boden im Umkreis eines Hauses stark verschmutzt, so dass Fäulnisvorgänge in hohem Masse in ihm ablaufen, dann kann es soweit kommen, dass wir im Innern des Hauses in verdünnten Fäulnisgasen leben. Endlich aber liegt eine grosse Gefahr in der Verschmutzung der Brunnen. Lange Zeit zwar schützt die Filtrationskraft des Bodens den Brunnen, bei fortgesetzter Zufuhr von organischem Material schreiten aber die Zersetzungsprocesse im Boden vorwärts und die Brunnen werden in hochgradigster Weise betroffen, wie es die Untersuchungen von Brunnen in einer Reihe von älteren Städten gezeigt haben.

Ein instructives Beispiel, einen wie grossen Einfluss die Bodenreinhaltung auf die Gesundheit der Bewohner hat, bietet uns München. Hier hatte sich früher der Abdominaltyphus in so hohem Grade festgesetzt, dass im Jahre 1840 von 100 000 Einwohnern 511 an Typhus starben. Durch die fortschreitenden Massnahmen der Bodenreinhaltung verminderte sich die Sterblichkeitsziffer im Jahre 1880 bis auf 17 für 100 000 im Durchschnitt, sie hatte also gegenüber den vierziger Jahren um das 30fache abgenommen.

Auf Grund dieser Resultate der Hygiene hat man nun eine Zeit lang die Forderung aufgestellt, dem Boden dürfe nichts von den Abfallstoffen übergeben werden, und hat die öffentlichen Wasserläufe als den geeignetsten Abzugskanal für deren Beseitigung angesehen. Da liegt nun aber die Gefahr nahe, dass die rigorose Bodenreinhaltung zur Flussverunreinigung führe und man so gewissermassen den Teufel durch Beelzebub austreibe. Welch hohe Grade die Flussverunreinigung bisweilen erreichen kann, das zeigte sich in London, als die Kanäle noch innerhalb der Stadt sich in die Themse entleerten. In dem heissen Sommer 1858 war der Schwefelwasserstoff frei in der Luft nachweisbar und als John Simon über 200 beliebige Personen, welche auf der Themse beschäftigt waren, namentlich die Capitäne und Beamte der Dampfboote, ärztlich untersuchen liess, da stellte sich heraus, dass sie fast ausnahmslos an Krankheitserscheinungen litten, welche auf Schwefelwasserstoffvergiftung zurückgeführt werden mussten. Dass dies Beispiel aber nicht allein dastehe, das zeigte der im Jahre 1868 erstattete Bericht einer englischen Commission, die nachwies, dass viele andere Flüsse Englands noch schlimmer beschaffen waren als die Themse, das zeigt auch die im Jahre 1874 angestellte Untersuchung des Zustandes der Seine in Paris:

„Unterhalb der Brücke von Asnières mündet am

rechten Ufer der grosse Sammelkanal von Clichy. Das schwarze, mit Fettaugen, Pfropfen, Haaren, Thierleichen und ähnlichem bedeckte Wasser mischt sich nur langsam mit dem Strome. Ein grauer Schlamm mit organischen Resten vermischt, häuft sich längs des rechten Ufers und erzeugt erhöhte Bänke, welche zeitweise Inseln bilden. Dieser Schlamm bedeckt aber hier das ganze Flussbett; in ihm gährt es und die bei der Zersetzung freiwerdenden Gasblasen, welche im Aufsteigen den stinkenden Schlamm vom Boden des Flusses mitnehmen und an der Oberfläche platzen, haben oft in der heissen Jahreszeit 1—1½ m im Durchmesser. Kein lebendes Wesen, weder Fisch noch Pflanze, findet sich hier, die grünen Algen sind völlig verdrängt. Erst unterhalb der Einmündung der Oise und bei Meudon sind die letzten Spuren der Verunreinigung geschwunden".

Die Seine muss also, um die Pariser Schmutzstoffe abzugeben, einen Weg von 70 km zurücklegen.

Ein derartig verunreinigter Fluss kann seinerseits manchmal wieder durch das Grundwasser zur Bodenverunreinigung seiner Umgebung führen. Das ist aber nicht der grösste Uebelstand, denn bedenkt man nur, wie leicht Infectionserreger ihren Weg in die Flüsse finden und wie günstige Bedingungen, wenigstens in der wärmeren Jahreszeit, sie dort zu ihrer Erhaltung, ja sogar Vermehrung finden, so ist leicht begreiflich, dass die Flussverunreinigung, abgesehen von der Störung der Fischzucht und vieler gewerblicher Betriebe, auch in gesundheitlicher Beziehung der Bodenverunreinigung an Gefährlichkeit kaum nachsteht.

Am stärksten wird eine Flussverunreinigung naturgemäss dann eintreten, wenn einem relativ kleinen Flusse die Abgänge einer grossen Stadt überantwortet werden müssen oder wenn mehrere Städte einem Flusse ihre Abfallstoffe übermitteln, ohne dass dieser Zeit behält, der Schmutzstoffe sich zu entledigen.

Ausserdem kommt auch die Geschwindigkeit des Flusslaufs in Betracht. Bei gleicher Wassermenge zweier Flüsse werden dort die Verunreinigungen am wenigsten empfunden werden, wo eine grosse Geschwindigkeit des Wassers die Abfallstoffe rasch weiter befördert. Dass hier eine gewisse Grenze der Schnelligkeit auch nach oben hin nicht überschritten werden darf, werde ich später zeigen.

Man hat deshalb als empirische Regel zur Verhütung der Flussverunreinigung die Forderung aufgestellt, dass das Verhältnis zwischen Abwasser und Flusswasser mindestens 1 : 15, und die Stromgeschwindigkeit mindestens 0,6 m pro Secunde betragen müsse. Nur unter diesen Bedingungen dürfe die Einleitung der Kanaljauche in den Fluss gestattet werden.

Bei der Aufstellung von derartigen Minimalforderungen machte sich ein Uebelstand bemerklich, der darin lag, dass nicht genau bestimmt war, was als Flussverunreinigung zu bezeichnen sei. Früher hat man von Flussverunreinigung nur dann gesprochen, wenn folgende Symptome vorhanden waren:

1) Aenderung der äusseren Beschaffenheit des Wassers, so dass es direct ekelerregend und daher zum Genuss untauglich war.

2) Gröbere Aenderungen der chemischen Zusammensetzung des Wassers.

3) Die Bankbildung und Fäulnis der ganzen Wassermasse.

Zeigen sich diese Symptome, dann liegt allerdings Flussverunreinigung vor, aber schon in so hohem Grade, dass man dies als Grenzwert nicht festhalten darf. Denn in der Praxis kann dann leicht der Fall eintreten, dass ein Fluss als rein bezeichnet und infolgedessen sein Wasser ohne weiteres gebraucht wird, während es doch in Wirklichkeit durch seinen Gehalt an pathogenen Keimen eine eminente Gefahr enthält. Das kommt daher, dass die Begriffe Fluss-

verunreinigung (nach der gewöhnlichen Definition) und Infectionsgefahr sich nicht decken. Die Isar wird bei Freising wohl kaum mehr als durch die Münchener Kanalwässer verunreinigt bezeichnet werden können, und doch enthält sie nach den Untersuchungen von Prausnitz pro ccm eine so grosse Anzahl von Keimen, dass das Isarwasser noch weit unterhalb Münchens in hygienischer Beziehung als äusserst verdächtig zu bezeichnen ist. Fischer schreibt in Bezug darauf: „Fürs erste müssen wir die Möglichkeit festhalten, dass unter Umständen auch ganz vereinzelt Krankheitserreger, wenn sie mit dem Wasser in den Körper aufgenommen werden, zur Infection führen können. Ausserdem ist es nach den bisherigen Erscheinungen sehr wohl denkbar, dass die pathogenen Keime unter gewissen Bedingungen, sei es im Fluss oder sei es erst nach der Entnahme aus demselben eine Vermehrung erfahren. Endlich sind sehr wohl Verhältnisse denkbar, die einer Vernichtung der in den Fluss gelangten Krankheitserreger durch das Licht u. s. w. entgegen wirken. Man wird daher jedenfalls nicht mit Sicherheit darauf rechnen dürfen, dass in einer geringen Entfernung unterhalb der Stadt alle von dort herstammenden Krankheitserreger zu Grunde gegangen sind. Ist nun auch die Verwendung des Isarwassers seitens der Anwohner unterhalb von München eine beschränkte, so ist doch bei dem Gebrauch des Wassers seitens der Flösser, bei der gelegentlichen Benutzung zum Baden, Waschzwecken u. s. w. die Möglichkeit der Infection und damit der Verschleppung von Infectionskrankheiten gegeben.

Diese Ausführung zeigt, wie auch ein nicht verunreinigter Fluss Anlass zu einer Infection geben kann, und deshalb dürfte man den Begriff Flussverunreinigung in hygienischer Beziehung wohl besser so definieren: Ein Fluss ist dann verunreinigt, wenn er aus

irgend einem Grunde eine Gefahr für seine Umgebung ist.

Das kann nun sowohl in Folge seiner chemischen, als auch seiner morphologischen Bestandteile sein. Nur selten kommt es vor, dass ein Fluss chemische Verbindungen in solcher Menge enthält, dass sie gesundheitsschädlich sind, häufiger kann man eine Gefahr im Vorkommen von pathogenen Mikroorganismen im Flusswasser vermuten.

Die nächste Frage ist nun die: Wie muss ein Fluss behandelt werden, um diese Infectionsgefahr auszuschliessen?

Vor allem ist da auf die sogenannte Selbstreinigung der Flüsse hinzuweisen, wodurch diese Gefahr schon bedeutend veringert wird. Die Selbstreinigung ist zum grossen Teil ein Sedimentierungsprocess. Die suspendierten Teilchen lagern sich auf dem Boden des Flusses ab. Je ruhiger bis zu einem gewissen Grad der Lauf des Flusses, je tiefer das Wasser, um so vollständiger wird die Ablagerung sein. Daher kommt auch die rasche Selbstreinigung der Spree, bei der die Havelseen die Selbstreinigung in ganz ausserordentlicher Weise begünstigen.

In erster Linie sedimentieren die Nährstoffe und nehmen einen grossen Teil der Bacterien mit auf den Grund, ebenso werden diese durch sich absetzenden Sand und ähnliches gefällt. Sodann sedimentieren die Keime, namentlich die unbeweglichen Formen derselben schon durch ihr eigenes specifisches Gewicht, und endlich wird ihr Nährmaterial rasch durch die Algen erschöpft. Bei den Versuchen, die ich mit einer Verdünnung des Kanalwassers von 1 zu 50 anstellte, traten grüne Algen allerdings erst zwischen dem 4. und 6. Tag auf, in Flusswasser wird sich aber ohne Zweifel ihr Einfluss viel früher bemerkbar machen, da sie in diesem schon bei Eintritt der Kanaljauche in grosser Menge vorhanden sind.

Ausserdem ist von grosser Wichtigkeit der Einfluss des Lichtes. Namentlich das directe Sonnenlicht hemmt das Wachstum der Bacterien, ja hebt es sogar in vielen Fällen auf. Ueber den Einfluss der Bewegung des Wassers auf die Microorganismen sind schon viele Versuche angestellt worden, welche allerdings zu widersprechenden Resultaten geführt haben. Jedenfalls scheint soviel festzustehen, dass der Einfluss der Bewegung des Wassers auf die Lebensthätigkeit der Bacterien über Gebühr hoch angeschlagen worden ist. Pöhl machte einige Versuche in dieser Richtung. Eine Flasche mit Wasser, welches 4147 Bacterien pro ccm enthielt, wurde in eine Centrifuge gebracht; eine 2. Flasche mit demselben Wasser liess er eine Stunde lang stark schütteln. Die erste Probe brachte nach dieser Zeit noch 533, die letztere 728 Colonieen pro ccm zur Entwicklung; die Zahl der Bacterien hatte sich also bedeutend vermindert. Zu den entgegengesetzten Resultaten kamen Cramer, Leone, Miquel, Gärtner, und Schröder, bei deren Untersuchungen sich die Bacterien sowohl bei freiem wie bei beschränktem Gasaustausch gegen Bewegung unempfindlich zeigten.

Im grossen ist der Einfluss der Bewegung auf die Selbstreinigung von Flüssen an der Isar studiert worden und da zeigte sich, dass eine starke Strömung der Selbstreinigung insofern hinderlich ist, als sie einerseits einen wesentlichen Einfluss auf das Absterben der Bacterien nicht hat, andererseits aber die Sedimentierung des suspendierten Materials hindert. So kommt es, dass bei starker Strömungsgeschwindigkeit die Länge des Flusslaufes wächst, welche zur Beendigung der Selbstreinigung nötig ist. Die Limmat reinigt sich bis zu einem gewissen Grade bei einer Strömungsgeschwindigkeit bis zu 0.5 m pro Secunde in einem Flusslaufe von 10.5 km. Die Isar ist ein verhältnismässig reissender Gebirgsfluss; trotzdem, dass im Verhältnisse zur Spree und zur Limmat die Verunreini-

gung der Isar durch die Münchener Kanalwässer nach den Resultaten der Prausnitzschen Untersuchungen geringer ist (darnach sind im Münchener Schmutzwasser durchschnittlich in 1 ccm 100 000 bis 300 000 Keime enthalten), so ist doch bei einem längeren Laufe von 33 km die Selbstreinigung bis Freising noch nicht vollendet (Frank, Ueber Flussverunreinigung).

Natürlich darf man nun auch nicht auf Grund dieser Untersuchungen das Gegenteil befürworten und das Wasser eventuell eine Zeit lang stagnieren lassen, nur um den Keimen besser Gelegenheit zu geben, sich abzusetzen. Denn dann geht unter Umständen die ganze Wassermasse in Fäulnis über. Das beste dürfte, wie schon oben angegeben, eine Schnelligkeit der Bewegung von 0,5—0,6 m pro Secunde sein. Begünstigend auf eine reiche Entwickelung der Keime und damit die Infectionsgefahr erhöhend, wirkt eine höhere Temperatur ein, die im Sommer bei stehenden Gewässern das Temperaturoptimum selbst mancher pathogenen Arten erreichen kann. Viel weniger Einfluss hat eine niedere Temperatur. Denn dass sich unter Umständen sogar pathogene Keime auch bei niederer Temperatur im Wasser finden können, falls die Beimengung derselben eine erhebliche ist, zeigt das Auffinden von Kommabacillen in dem Wasser der Leitung der Irrenanstalt zu Nietleben. Man sieht daraus, dass man den Einfluss einer niederen Temperatur auf die Selbstreinigung der Flüsse inbezug auf Infectionsgefahr nicht überschätzen darf.

Einen grösseren Einfluss darauf dürfte vielleicht der Antagonismus der Arten haben, der aber mit Bezugnahme auf diese Verhältnisse noch nicht genauer studiert ist. Bringt man z. B. Proteusarten, die sich in allen Abwässern finden, mit Cholerabacillen gemischt, in steriles Wasser, so sind in ganz kurzer Zeit Kommaformen nicht mehr nachzuweisen. Auf welcher Ursache dieser Antagonismus beruht, ist noch nicht sicher

entschieden, im übrigen auch in Bezug auf unsere Frage ohne Belang.

Viel wurde darüber gestritten, ob ein reichlicher Zufluss von Sauerstoff das Wachstum der Bacterien hemme oder fördere. Nach den von mir angestellten Versuchen scheint letzteres der Fall. Ich verfuhr dabei folgendermassen: 10 ccm Abwasser wurden mit 500 ccm Wasser verdünnt und in eine Schale ausgegossen, wie sie zu feuchten Kammern benutzt werden, ebenso viel Wasser mit gleich viel Abwasser blieb in einem engen Cylinder stehen. Am dritten und sechsten Tag goss ich Platten und da fand ich in dem Wasser der Schale 6850000 und 7200000 Keime pro ccm, in dem Wasser des Cylinders 3840000 und 5850000 Keime. Dort, wo der Sauerstoff leicht Zutritt hatte, war also die Vermehrung der Keime eine raschere, sie scheinen das Maximum des Wachstums schneller zu erreichen, wie das, wo wegen der verhältnismässig kleinen Absorptionsfläche der Sauerstoff nur schwierig Eintritt in die Flüssigkeit erhält. Alle diese bisher angeführten Momente wirken auf die Selbstreinigung der Flüsse in bacteriologischer Hinsicht mehr oder minder begünstigend ein; noch nicht näher untersucht ist bis jetzt nur noch ein Punkt, nämlich welchen Einfluss die Verdünnung auf das Wachstum der Bacterien hat. Hierüber habe ich nun einige Versuche angestellt; es dürfte jedoch von Interesse sein, bevor ich dazu übergehe, über die Beschaffenheit der Kanalwässer, speciell des Berliner Kanalwassers, einiges zu sagen.

Das Wasser, das mir zu Gebote stand, stammte aus der Pumpstation in der Reichenbergerstrasse und wurde jedesmal dem Stammkanal unmittelbar vor dem Sandfang entnommen, also bevor sich die körperlichen Bestandteile desselben abgesetzt hatten. Es ist eine schmutzige, gelbbraune Flüssigkeit von neutraler bis schwach alkalischer Reaction, und von sehr hohem

Bacteriengehalt. Bei den verschiedenen Proben, die ich jedesmal sofort nach ihrer Entnahme untersuchte, fand ich einen Gehalt von 20 bis 40 Millionen Keimen pro ccm. in Uebereinstimmung mit den Resultaten von Koch, der in dem „Bericht der Deputation für die Verwaltung der Kanalisationswerke" für die Spüljauche aus dem Druckrohr in Falkenberg einen Gehalt von 38 Millionen Keime angiebt.

Dabei ist zu bemerken, dass selbst diese hohen Zahlen in Wirklichkeit noch zu niedrig sind. Denn meine Zahlen können sich natürlich nur auf die aëroben Keime beziehen, die auf den Gelatineplatten entwicklungsfähig waren, während die Zahl derer, denen dieser Nährboden nicht zusagte, unberücksichtigt bleiben musste. Ebenso erfuhr die Zahl der Bacterien dadurch eine Verminderung, dass das Abwasser nach seiner Entnahme aus der Pumpstation filtriert werden musste. Denn einesteils waren immer noch eine Anzahl gröberer Partikelchen vorhanden, da ja das Abwasser in der Station vor dem Sandfang, also ehe es sich vollständig gesetzt hatte, entnommen wurde, andererseits mussten Convolute von Bacterien zurückgehalten werden, die aus tausenden von aneinanderklebenden Mikroorganismen bestehen, auf der Platte aber nur eine Colonie geben und dadurch nur einen Keim vortäuschen. Man musste da von zwei Uebeln das kleinere wählen und behufs grösserer Gleichmässigkeit des Wassers, die für die weiteren Versuche mit fortschreitenden Verdünnungen absolut nötig war, in eine geringe Verminderung der in demselben enthaltenen Keime willigen. Es wurde also mit dem Kochschen Plattenverfahren die Zahl der Bacterien bestimmt. Da aber das Abwasser wegen seines grossen Gehaltes an Keimen successive mit sterilisiertem Wasser in dem Grade verdünnt werden musste, dass man zuletzt mit $^1/_{20\,000}$ und $^1/_{50\,000}$ ccm des ursprünglichen Abwassers Platten goss, so ist hieraus schon ersichtlich, dass

alle Zahlen hier nur Annäherungswerte darstellen können, die aber durch eine grössere Anzahl von Untersuchungen genügend sicher gestellt sind; hierbei ergaben sich also, wie schon oben erwähnt, im Durchschnitt etwa 30 Millionen Keime.

Was nun die verschiedenen Arten von Bacterien betrifft, so geben uns gefärbte Präparate hier ein sehr vielseitiges Bild: Bacterien, Kurz- und Langstäbchen, mit und ohne Kapsel, Coccen aller Art sind in buntem Durcheinander vorhanden, daneben aber auch Spirillen und Kommaformen, die sich in gefärbten Präparaten von Cholerabacterien nicht unterscheiden lassen. Besonders häufig kommt der bacillus fluorescens vor, ausserdem Proteusarten, bacillus ramosus, bacterium Zopfii, bacterium coli commune, bacillus arborescens, bacillus subtilis, bacillus gracilis und noch eine grössere Anzahl teilweise noch nicht beschriebener Arten; auch Staphylococcen und Streptococcen, einige Schimmelpilze und die sarcina alba lassen sich im Abwasser nachweisen.

Dieses im höchsten Grad verunreinigte Wasser ist nun dazu bestimmt, teils direct, wie in vielen Städten, den öffentlichen Wasserläufen zugeführt zu werden, teils indirect nach der Filtration auf den Rieselfeldern, die es allerdings wesentlich reiner verlässt. Das letztere System ist in Berlin eingeführt, aber abgesehen davon, dass auch hier nach stärkeren Regengüssen, nach Tauwetter etc. ein grosser Teil des Schmutzwassers, den die Pumpstationen nicht bewältigen können, durch die sogenannten Notauslässe direct der Spree zugeführt wird, so ist zu bemerken, dass nach den Untersuchungen, die Koch und Tiemann anstellten, die Abflüsse der Rieselfelder noch derart verunreinigt sind, dass sie eventuell noch einen Wasserlauf verunreinigen können. Koch wies in dem oben angegebenen Bericht nach, dass das Wasser des Grenzgrabens bei seinem Austritt

aus dem Rieselterrain pro ccm noch 210000 Keime enthalte.

Nach der Mündung in die Spree werden nun die Nährwerte, die in dem Wasser des Grenzgrabens noch ziemlich concentriert vorhanden waren, den Bacterien zwar vorerst noch nicht entzogen, aber doch ganz bedeutend verdünnt, und es fragt sich nun, hat diese Verdünnung der Nährlösung einen Einfluss auf die Selbstreinigung des Flusses, insofern als anspruchsvollere Bacterienarten dadurch zu Grunde gehen?

Um dies festzustellen, machte ich folgenden Versuch: 2 Glaskolben mit je 2 l Wasser wurden sterilisiert und mit je 15 Millionen Keimen ($^1/_2$ ccm Abwasser) inficiert. Desgleichen wurden 2 Bouillonröhrchen, deren jedes 2 ccm sterile Bouillon enthielt, mit derselben Menge Abwasser inficiert. Eines der Röhrchen wurde in den einen Wasserkolben ausgegossen und durch Umschütteln die Bouillon innig mit dem Wasser vermengt, so dass nun auf 1 ccm 7500 Keime kamen. Das andere Röhrchen und der zweite Kolben blieben getrennt stehen. Nun war auf beiden Seiten die Zahl der übergeimpften Bacterien sowohl wie die Zahl der vorhandenen Nährwerte gleich: es war nur der Unterschied, dass auf der einen Seite die Bacterien sich in der concentrierten Bouillon, auf der anderen in der mit 2 l Wasser verdünnten entwickeln mussten, während eine Entwicklung auf Grund der Nährstoffe des Wassers beiderseits ermöglicht war. Nach 2tägigem Wachstum bei einer Temperatur von 14—18° wurde nun auch das 2. Röhrchen in den noch freien Kolben ausgegossen und dann sofort Platten gegossen. Hierbei und bei späteren Versuchen ergaben sich folgende Resultate:

Es vermehrten sich

7 500	Keime	i. d.	concentr.	Lösung	z.	27 104	i. d.	Verd.	z.	17 600
12 650	„	„	„	„	„	32 160	„	„	„	23 885
8 000	„	„	„	„	„	29 900	„	„	„	38 000
15 000	„	„	„	„	„	72 830	„	„	„	57 470
11 400	„	„	„	„	„	42 650	„	„	„	55 800
8,5 Mill.	„	„	„	„	„	37 Mill.	„	„	„	31 Mill.

Im allgemeinen fand also in der concentrierteren Nährlösung eine reichere Entwicklung von Bacterien statt. Auf den Wechsel der Arten der Bacterien, der wahrscheinlich eingetreten ist, will ich nicht weiter eingehen.

Nun suchte ich festzustellen, wie sich die Wachstumsdifferenzen bei verschieden starker Verdünnung gestalten. Zu dem Zweck verfuhr ich folgendermassen:

50 ccm filtrierten Abwassers blieben in einem Erlenmeyerschen Kölbchen unvermischt stehen. Dieselbe Menge Abwasser wurde dann auch mit den 10fachen, 15fachen, 20-, 30-, 40- und 100fachen Mengen reinen sterilisierten Wassers versetzt. Beträgt nun die Zahl der Bacterien in 1 ccm des unverdünnten Abwassers x, so ist in einem jeden ccm des Kolbens 50 : 500 $^1/_{10}$ x, in den folgenden $^1/_{15}$ x, $^1/_{20}$ x u. s. w. an Bacterien vorhanden. Die direct nach der Verdünnung angestellte Untersuchung ergab auch auf der Platte, wie es von vornherein anzunehmen war, dieses Resultat. Angenommen, es vermehren sich in einem bestimmten Zeitraum die x-Bacterien des 1. Kölbchens pro ccm zu y, so fragt es sich, ist das Verhältnis zwischen den einzelnen Kolben jetzt auch noch dasselbe geblieben, sind also im 2. $y_{/10}$, im 3. $y_{/15}$ vorhanden oder hat sich das Verhältnis hier verschoben? Ist die Annahme richtig, dass die Bacterien in der concentrierten Nährlösung bessere Lebensbedingungen haben, dann muss der erste Kolben die reichste Entwicklung zeigen und das Verhältnis der übrigen zu ihm in einer abfallenden Curve liegen.

Die Resultate, die der Versuch ergab, sind folgende:

	1 ccm enthält	
	am Anfang	nach 5 Tagen
50 conc.	50 000 000	1 640 Mill.
50 : 500	5 000 000	32,76 „
50 : 750	3 300 000	30 „

	1 ccm enthält	
	am Anfang	nach 5 Tagen
50 : 1000	2 500 000	19,75 Mill.
50 : 1500	1 650 000	6,78 „
50 : 2000	1 250 000	12,65 „
50 : 5000	500 000	5,3 „

Eine Wiederholung des Versuchs ergab folgende Resultate:

	1 ccm enthält		
	am Anfang	nach 3 Tagen	nach 5 Tagen
50 conc.	32 Mill.	200 Mill.	586,4 Mill.
50 : 500	3,2 Mill.	26,4 Mill.	117 Mill.
50 : 750	2 Mill.	12,92 Mill.	103 Mill.
50 : 1000	1,6 Mill.	12,474 Mill.	vacat.
50 : 1500	1,06 Mill.	5,2 Mill.	53,5 Mill.
50 : 2000	0,8 Mill.	6,1 Mill.	57 Mill.
50 : 5000	0,3 Mill.	2,2 Mill.	39,8 Mill.

Da diese beiden Versuche einen definitiven Schluss nicht zulassen, machte ich noch 2 weitere Versuche, deren einer sich über eine längere Reihe von Tagen erstreckt:

Ich verdünnte Abwasser im Verhältnis von 1 : 15, 1 : 50 und 1 : 100 und goss damit an bestimmten Tagen Platten und zwar sowohl mit Wasser aus den oberen Schichten, aus denen die Bacterien durch Sedimentieren teilweise verschwunden waren, als auch mit dem Wasser, das ich durch tüchtiges Aufschütteln des Bodensatzes erhielt. Bei dem einen Versuch, der sich über 9 Tage erstreckt, waren die Kolben derart aufgestellt, dass sie dem directen Sonnenlicht zugänglich waren. Hier traten grüne Algen am 4. –5. Tag auf; der andere Versuch erstreckt sich über einen Zeitraum von 50 Tagen und wurde in einem dunklen Raum gehalten, wodurch das Wachstum von grünen Algen ausgeschlossen wurde. Folgende Tabelle giebt uns die Resultate des ersten Versuchs:

		Am 3. Tag	Am 6. Tag	Am 9. Tag
1 : 15 (1,3 Mill.)	sedimentiert	148 000	50 000	27 500
	aufgeschüttelt	180 000	168 000	170 000
1 : 50 (0,4 Mill.)	sedimentiert	60 000	46 000	80 000
	aufgeschüttelt	142 000	135 000	83 000
1 : 100 (0,2 Mill. in 1 ccm)	sedimentiert	20 000	1 600	3 000
	aufgeschüttelt	48 000	20 400	24 000

Die Resultate des 2. Versuchs sind folgende:

	1 : 15		1 : 50		1 : 100	
	sediment.	aufgesch.	sediment.	aufgesch.	sediment.	aufgesch.
Am Anfang	—	1 333 000	—	400 000	—	200 000
Nach 3 Tg.	3 805 000	9 500 000	3 700 000	3 840 000	450 000	600 000
Nach 6 Tg.	1 620 000	9 270 000	945 000	5 850 000	500 000	1 300 000
Nach 9 Tg.	361 500	2 520 000	140 800	3 120 000	80 000	680 000
Nach 15 Tg.	200 000	—	150 000	580 000	4 200	650 000
Nach 20 Tg.	80 000	650 000	75 000	—	15 000	180 000
Nach 30 Tg.	9 500	23 000	10 500	18 900	4 300	16 700
Nach 40 Tg.	32 000	19 800	6 500	20 400	2 800	6 800
Nach 50 Tg.	15 000	20 200	7 800	21 000	3 000	5 500

Vergleicht man die Resultate dieser Versuche mit einander, so findet man in der Regel die Annahme bestätigt, dass bei stärkerer Verdünnung nicht nur die absolute Zahl der Keime abnimmt, sondern namentlich auch ein relativ schwächeres Wachstum derselben zu beobachten ist. Dabei ist noch der Umstand zu bedenken:

Die von mir angegebenen Zahlen beziehen sich nur auf die Anzahl der sich entwickelnden Colonieen ohne Rücksicht auf deren etwaige Verschiedenheit. Namentlich an den Platten von den stärkeren Verdünnungen konnte man eigentlich nur noch Bacterien nachweisen, die auch sonst im Wasser zu finden sind, während z. B. das bacterium Zopfii, Streptococcen und Staphylococcen aus demselben meistenteils verschwunden sind. Dass nun aber die absolute Zahl der Colonieen doch nicht in dem Masse abnahm, wie man es darnach eigentlich hätte erwarten können, rührt daher, dass der Ausfall der einen Arten durch umso reichlicheres Wuchern von anderen, anspruchsloseren Arten ausgeglichen wurde.

Der Umstand aber, dass einzelne Arten bei starker Verdünnung mit der Zeit ganz verschwinden, der trägt ganz wesentlich zur Verminderung der Infectionsgefahr bei, denn es ist anzunehmen, dass pathogene Keime noch rascher als die Keime des Abwassers im Kampf ums Dasein der Concurrenz erliegen.

Von diesen Erwägungen ausgehend stellte ich nun in der Folge Untersuchungen an mit Abwasser, das mit Typhus und Cholerakeimen inficiert war. Dass diese zeitweise im Abwasser vorkommen können, dürfte wohl niemand bestreiten, denn bei einer etwaigen Typhus- oder Choleraepidemie wird es sich wohl gar nie vermeiden lassen, dass trotz aller Vorschriften über Desinfection der Stühle virulente Cholera- und Typhusbacillen in Menge ins Abwasser kommen.

Zuerst stellte ich fest, ob das Abwasser als solches überhaupt ein geeigneter Nährboden für Cholera- resp. Typhusbacterien sei. Diese pathogenen Keime sind ja bekanntlich in Bezug auf ihr Nährmaterial ziemlich wählerisch, und eine mehr oder minder starke saure Reaction des Nährbodens verhindert ihr Wachstum vollständig. Zu dem Zwecke sterilisierte ich 50 ccm Abwasser und impfte es mit 1 ccm Cholerawasser, das ich mir durch Aufschwemmung des Belags einer frischen Agarstrichcultur in sterilisiertem Wasser hergestellt hatte. Anfangs enthielt nun jeder ccm des Abwassers 98 000 Cholerakeime, nach 2tägigem Wachstum bei 18° C. waren daraus 1 200 000 und nach fünftägigem Wachstum 6 850 000 geworden. Aehnliche Zahlen ergab derselbe Versuch mit Typhusbacillen. Dieser Versuch beweist, dass das Abwasser an sich für pathogene Keime einen sehr geeigneten Nährboden darstellt. Es fragt sich nur, inwiefern haben die andern darin enthaltenen Keime und inwiefern hat die Verdünnung einen auf diese Bacterien wachstumhemmenden Einfluss? In Bezug auf die erste Frage schreibt Professor Gärtner: „Man hat der Concurrenz ein grosses Gewicht beigelegt und behauptet, Fäulniskeime, Saprophyten, überwuchern die Choleraerreger. Gewiss wird das in manchen, vielleicht in vielen Fällen vorkommen, in anderen jedoch nicht. Ausser vielen sonstigen Umständen, welche in Rücksicht zu ziehen sind, ist auch die Art der Saprophyten von Belang. Während z. B. die Commabacillen von den nach Häuser sogenannten Proteusarten in kürzester Zeit überwuchert und unterdrückt werden, vermögen sie neben einigen Coccen, Schimmel- und Hefenarten sehr wohl weiter zu existieren.

Auch die frühere Annahme, dass Fäulnis als solche die Cholerakeime rasch zum Absterben bringt, dürfte nicht immer zutreffen. Jedenfalls konnten Schottelius und Gruber in bereits mehrere Tage

altem, flüssigem, faulendem Kot eine Vermehrung der Choleravibrionen nachweisen." Koch erwähnt, dass die Kommabacillen, in Brunnenwasser übertragen, sich bis zu 30 Tagen nachweisen liessen, im Berliner Canalwasser hielten sie sich nur 6—7 Tage, mit Kot gemischt nur 24 Stunden und in Abtrittsjauche waren sie schon nach 12 Stunden nicht mehr zu entdecken. Von grösstem Interesse, weil es kein Laboratoriumsversuch ist, sondern weil es sich um natürliche Verhältnisse handelt, ist die Mitteilung Kochs über das Vorkommen von Cholerabacillen im indischen Tankwasser. Gärtner schreibt darüber: „Am 8. Februar 1884 wurden in dem Wassertank zu Saheb-Bagan in Kalkutta Kommabacillen gefunden und blieben bis zum 23. Februar nachweisbar. Somit waren dieselben mindestens 14 Tage lang, wahrscheinlich aber viel länger in Wasser lebensfähig geblieben, denn die erste Choleraerkrankung fiel auf den 2., die zweite auf den 10. Januar. Von dieser Zeit an war also die Möglichkeit der Besiedlung des Wassers mit Kommabacillen gegeben." Nun wäre es ja allerdings auch immerhin möglich, dass eine mehrmalige Infection des Tanks stattgefunden hätte, sodass die Lebensenergie der einzelnen Keime doch keine so grosse gewesen wäre. Bei den von Krauss bei Brunnentemperatur und von Gärtner bei 11.5° angestellten Versuchen waren die Bacillen schon nach 24 Stunden abgestorben.

Auch ich stellte Untersuchungen über das Wachstum von Cholerabacillen in Abwasser an und zwar übertrug ich in ein Erlenmeyersches Kölbchen mit 100 ccm unfiltriertem Abwasser 9,28 Millionen Kommabacillen = 1 ccm Cholerawasser. Da 1 ccm des unfiltrierten Abwassers 45 Millionen Keime enthielt, in den 100 ccm also 4500 Millionen enthalten waren, so kam durchschnittlich immer auf 500 anderweitige Bacterien ein Kommabacillus.

Nach 24 Stunden (bei 16° C.) hatte sich das

Verhältnis der Cholerakeime zu den andern noch wenig verschoben, auf einer Platte dagegen, die ich nach 50 Stunden goss, waren nur noch sehr wenig Cholera-colonieen aufzufinden, während die Wasserbacterien sich ins ungeheuere vermehrt hatten: auf späteren Platten war Cholera mittelst der Plattencultur überhaupt nicht mehr nachzuweisen.

Eine grössere Lebensenergie zeigen Typhusbacterien. Von Hüppe, Heräus, Bolton, Maschke, Wolffhügel, Riedel und Karlinsky liegen eine ganze Reihe von Beobachtungen vor, die alle darauf hinauslaufen, dass selbst unter ungünstigen Verhältnissen Typhusbacterien ungefähr noch eine Woche lang nachweisbar sind. Auch ich konnte im Abwasser nach 24 Stunden, nach 50 Stunden, nach 4 und nach 5 Tagen Typhuskeime noch nachweisen.

Diese letzten Versuche haben, um die Resultate noch einmal kurz zusammenzufassen, meines Erachtens den unstreitigen Beweis geliefert, dass Typhus- und Cholerabacterien, ins Abwasser gelangt, dort fürs erste nicht zu Grunde gehen, sondern noch längere Zeit am Leben bleiben, ja, dass sie sogar unter Umständen in demselben sich ganz bedeutend vermehren können. Es fragt sich nun, ist dies auch der Fall, wenn die Nährwerte des Abwassers durch Einleiten desselben in einen Fluss stark verdünnt werden, oder mit andern Worten: Ist das Wachstum der Cholera- und Typhusbacterien abhängig von der Concentration ihrer Nährlösung?

Auch hier machte ich zuerst wieder einen dem oben beschriebenen gleichen Versuch, indem ich 2 Kolben mit je 2 l sterilisierten Wassers einerseits und 2 Röhrchen mit je 3 ccm Bouillon andererseits mit einer bestimmten Menge Cholera- resp. Typhusbacterien inficierte, das eine Bouillonröhrchen sofort in den einen Wasserkolben ausgoss, das andere erst nach 26 Stunden und das Ganze während dieser Zeit in einem Raum

von 18—20° C. hielt. Bei diesem und den ihm gleichenden folgenden Versuchen erzielte ich folgende Resultate:

128 520 000 Cholerakeime wuchsen in der verdünnten Nährlösung zu 120 Millionen, in der concentrierten zu 7 348 Millionen Keime aus.

33 Millionen Cholerakeime vermehrten sich in der verdünnten Lösung zu 40 Millionen, in der concentrierten zu 690 Millionen.

3.8 Millionen Typhusbacterien entwickelten sich in der verdünnten Nährlösung zu 50 Millionen, in der concentrierten zu 200 Millionen.

Beide Bacterienarten lassen also ganz deutlich einen Einfluss der Concentration auf ihr Wachstum erkennen.

Sodann suchte ich festzustellen, ob eine vorausgegangene Filtration des Abwassers von Einfluss sei auf die Entwicklung der Bacterien. In der Litteratur sind hierüber einige Resultate mitgeteilt, die alle darin übereinstimmen, dass in filtrierten Wassern keine Vermehrung stattfinde. Bei den von mir angestellten Versuchen konnte ich stets sowohl im filtrierten als unfiltrierten sterilisierten Abwasser, wenn ich dies mit Cholera- oder Typhusbacterien inficierte, eine Vermehrung dieser Bacterien nachweisen; allerdings zeigten die Typhusbacterien eine stärkere Vermehrung in dem unfiltrierten Abwasser als in dem filtrierten.

Nachdem nun auch in dieser Beziehung das Verhalten der Bacterien zum Abwasser festgestellt war, blieb mir als letzter Versuch nur noch übrig, das nicht sterilisierte und nicht filtrierte Abwasser in verschiedenem Verhältnis mit reinem Wasser zu verdünnen und in diesen Verdünnungen das Wachstum der Typhus- und Cholerabacterien zu studieren.

Zu dem Zwecke vermischte ich 20 ccm Abwasser mit 100 ccm Wasserleitungswasser (1 : 5).

10 ccm Abwasser mit 500 ccm Wasserleitungswasser (1 : 50).

10 ccm Abwasser mit 1000 ccm Wasserleitungswasser (1 : 100).

4 ccm Abwasser mit 2000 ccm Wasserleitungswasser (1 : 500).

2 ccm Abwasser mit 2000 ccm Wasserleitungswasser (1 : 1000).

½ ccm Abwasser mit 2000 ccm Wasserleitungswasser (1 : 4000).

Darauf impfte ich jedem dieser Kolben, der jetzt infolge des Zusatzes von Abwasser die verschiedenartigsten Bacterien enthielt, mit ¼ ccm Typhuswasser und ¼ ccm Cholerawasser, so dass in jedem Kolben 15 Millionen Typhuskeime und 18 Millionen Cholerakeime enthalten waren und liess das Ganze in einem Raum von 18° C. stehen.

Nach 24 Stunden waren noch in allen Kolben sowohl Typhus- als auch Choleracolonieen nachzuweisen; eine Vermehrung hatte nicht stattgefunden.

Nach 2 Tagen waren die Typhusbacillen wieder in allen Kolben nachweisbar, die Cholerabacillen dagegen nur noch in den Verdünnungen von 1 : 5, 1 : 10 und 1 : 50, aus den anderen waren sie verschwunden und auch bei den erstgenannten war schon eine Abnahme zu constatieren, die Wasserbacterien hatten sich ungeheuer vermehrt.

Am 4. Tag waren Typhusbacillen ebenfalls noch in allen Verdünnungen. Kommabacillen mittelst Plattencultur nirgends mehr nachweisbar.

Am 6. Tag endlich waren auch nur noch auf 2 Platten Typhuscolonieen aufzufinden und zwar bei den Verdünnungen 10 : 100 und 4 : 2000.

Vergleichen wir zum Schlusse noch einmal all die verschiedenen Versuche miteinander, namentlich die grundlegenden Versuche, in denen die Bacterien sich teils in der concentrierten Bouillon, teils in der

stark verdünnten entwickeln mussten, so zeigt sich klar, dass der Grad der Verdünnung der Nährlösung nächst der Sedimentierung vielleicht der wichtigste Factor bei der Selbstreinigung der Flüsse ist. Nur würde man die Minimalgrenze erheblich grösser nehmen müssen, als 1 : 15, wenn ausschliesslich dieser Factor wirksam sein würde. Im Uebrigen glaube ich, dass man in dieser Frage der Flussreinigung wird rein empirisch verfahren und in den einzelnen Fällen durch Versuche feststellen müssen, welche Reinigung ein Fluss in seinem Laufe erreicht. Die Wirksamkeit der einzelnen Factoren lässt sich a priori nicht berechnen.

Zum Schlusse erfüllle ich noch die sehr angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Rubner für die gütige Ueberlassung des Themas und eines Arbeitsplatzes im hygienischen Institute, sowie für die vielseitigen Anregungen bei Anfertigung dieser Arbeit und für die gütige Durchsicht derselben geziemend meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Litteratur.

Rubner, Lehrbuch der Hygiene.
König, Die Verunreinigung der Gewässer.
Tiemann-Gärtner, Untersuchung des Wassers.
Die Beleuchtung, Wasserversorgung und Canalisation der Stadt Berlin, Festschrift.
Fränkel, Grundriss der Bacterienkunde.
Hueppe, Die Methoden der Bacterienforschung
Eisenberg, Bacteriologische Diagnostik.
Lustig, Bacterien des Wassers.
Virchow, Ueber die Erzeugung von Typhus und anderer Darmaffectionen durch die Rieselwässer.
Frank, Bemerkungen zur Frage der Flussverunreinigung.
Frankland, Reinigung des Wassers durch Sedimentierung.
Aufrecht, Ueber den Einfluss stark salzhaltigen Elbwassers auf die Entwicklung der Cholerabacillen.
Frank, Die Veränderungen des Spreewassers innerhalb und unterhalb Berlins.
Alexander Müller, Gesundheitsingenieur 1885.
Bericht der Deputation für die Verwaltung der Canalisationswerke für die Zeit vom 1. April 1882 bis zum 31. März 1883.
Miquel, de la richesse en bactéries des eaux d'essangease.

Thesen.

I.

Für grössere Städte ist das System der Berieselung allen anderen Abfuhrsystemen vorzuziehen.

II.

Die Diagnose auf Flussverunreinigung wird mit grösserer Sicherheit auf Grund der bacteriologischen als der chemischen Wasseruntersuchung gestellt.

III.

Die gesetzliche Festsetzung einer Mindestgrösse der Buchstaben bei Drucksachen ist anzustreben.

Lebenslauf.

Verfasser dieser Arbeit, Adolf Gustav Anton Friedrich Wilhelm Klett, Sohn des verstorbenen Oberamtsarztes Dr. med. Wilhelm Klett, evangelischer Confession, wurde am 4. Mai 1871 zu Ludwigsburg, Königreich Württemberg, geboren. Seine wissenschaftliche Vorbildung erhielt er auf dem Lyceum zu Cannstatt und in dem theolog.-philolog. Seminar Maulbronn und Blaubeuren, welch letzteres er im August 1889 mit dem Zeugnis der Reife verliess. Im October desselben Jahres wurde er in das Königl. medicin.-chirurgische Friedrich-Wilhelms-Institut zu Berlin aufgenommen. Vom 1. April bis 1. October 1890 genügte er seiner Dienstpflicht mit der Waffe bei der 5. Compagnie des Kaiser Alexander-Garde-Grenadier-Regiments No. 1. Am 18. Juli 1891 bestand er das Tentamen physicum, am 17. Juni 1893 das Tentamen medicum und am 23. Juni 1893 das Examen rigorosum. Während seiner Studienzeit hörte er die Vorlesungen, Kliniken und Curse folgender Herren:

von Bardeleben, von Bergmann, du Bois-Reymond, Dilthey, Engler, Ewald, Fräntzel, Grawitz, Gerhardt, Goldscheider, Gurlt, Gusserow, Hartmann (†), Hertwig, Hirsch, von Hofmann (†), Israël, Jolly, A. Köhler, R. Köhler, Kossel, Kundt, Lewin, Leyden, Liebreich, Olshausen, Oppenheim, Roth, Rubner, Salkowsky, Schweigger, Schwendener, Schweninger, Schulze, Siemerling, Sonnenburg, Strassmann, Virchow, Waldeyer.

Allen diesen Herren, seinen hochverehrten Lehrern, spricht Verfasser hiermit seinen ehrerbietigsten Dank aus.